

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-196891

(43)Date of publication of application : 19.07.2001

(51)Int.Cl.

H03H 9/215

H03H 9/02

(21)Application number : 2000-001171

(71)Applicant : CITIZEN WATCH CO LTD

(22)Date of filing : 07.01.2000

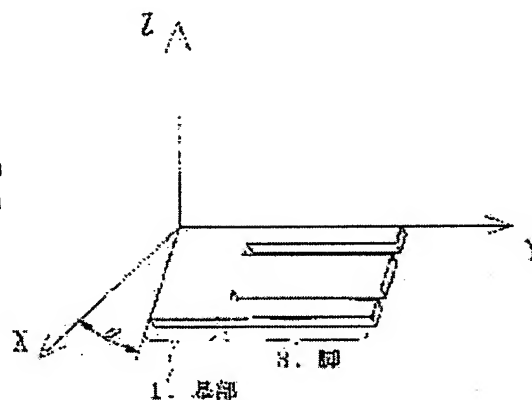
(72)Inventor : YAMAMOTO IZUMI  
YANAGISAWA TORU

## (54) VIBRATOR

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To solve such a problem of a conventional vibrator that there has been difficulty in enhancing the precision of the thickness because an applicable effective electric field is small in polishing which causes high dispersion in a resonance frequency of a completed 3-leg tuning fork vibrator.

SOLUTION: A leg elongation direction is selected for the Y axis of the crystal axis of a crystal, the cross direction is selected for the X axis and the perpendicular direction is selected for the Z axis of the crystal axis of the crystal, respectively, and the crystal is turned around the Y axis by 40-65 degrees. Thus, the effective component of the applied electric field in polishing is increased while keeping the temperature characteristic excellent so as to improve the precision of the thickness.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-196891  
(P2001-196891A)

(43) 公開日 平成13年7月19日 (2001.7.19)

|                           |       |         |            |
|---------------------------|-------|---------|------------|
| (51) Int.Cl. <sup>7</sup> | 識別記号  | F I     | テーマコード(参考) |
| H 0 3 H                   | 9/215 | H 0 3 H | 5 J 1 0 8  |
|                           | 9/02  |         | M          |

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2000-1171(P2000-1171)

(22) 出願日 平成12年1月7日 (2000.1.7)

(71) 出願人 000001960

シチズン時計株式会社

東京都西東京市田無町六丁目1番12号

(72) 発明者 山本 泉

埼玉県所沢市大字下富字武野840番地 シ

チズン時計株式会社技術研究所内

(72) 発明者 柳沢 徹

埼玉県所沢市大字下富字武野840番地 シ

チズン時計株式会社技術研究所内

Fターム(参考) 5J108 AA01 AA04 BB02 BB03 CC06

CC11 CC12 DD05 DD09 FF04

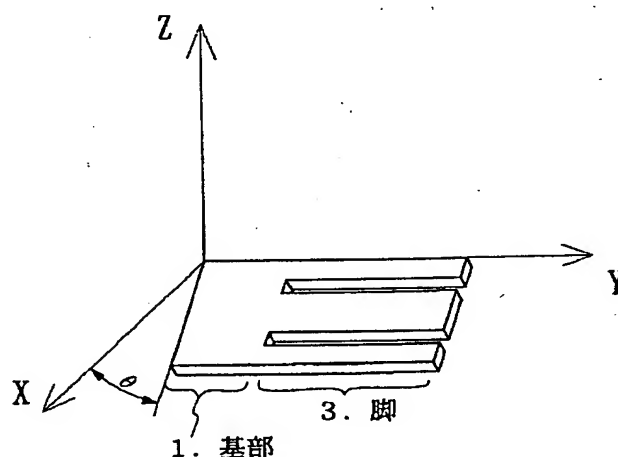
HH04

(54) 【発明の名称】 振動子

(57) 【要約】

【課題】 研磨時に印加できる有効な電界が小さく厚み精度の向上が困難であり、完成した3脚音叉振動子の共振周波数のばらつきが大きい。

【解決手段】 脚の伸びる方向を水晶の結晶軸のY軸とし、幅方向および厚み方向を、それぞれ水晶の結晶軸のX軸およびZ軸に一致させた状態からY軸のまわりに40°～65°だけ回転した方向とすることによって、温度特性を良好に保ちながら研磨時における印加電界の有効成分を大きくし、厚み精度を向上した。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 一つの基部と該基部から同一の方向に伸びる3本の脚を有し、該脚の各々が面外方向へ屈曲振動する振動モードで使用される、水晶からなる振動子であって、該脚の伸びる方向を水晶の結晶軸のY軸とし、幅方向および厚み方向を、それぞれ水晶の結晶軸のX軸およびZ軸に一致させた状態からY軸のまわりに角度 $\theta$ だけ回転した方向とし、角度 $\theta$ が次の不等式

$$40^\circ \leq \theta \leq 65^\circ$$

を満足するように構成したことを特徴とする振動子。

【請求項2】 一つの基部と該基部から同一の方向に伸びる3本の脚を有し、該脚の各々が面外方向へ屈曲振動する振動モードで使用される、水晶からなる振動子であって、該基部から見て該脚の伸びる方向とは反対方向にある該基部に接続する2つの連結部を有し、該2つの連結部は該振動子の幅方向の中心線に対して互いに線対称な位置にあり、該2つの連結部を結ぶ梁を有し、該梁と該振動子を固定するための取付部とを結ぶ一つの支持部を有することを特徴とする振動子。

【請求項3】 請求項1又は請求項2記載の振動子であって、前記3本の脚の内、中央に位置する脚の幅を他の2本の脚の幅の1.5～2.5倍としたことを特徴とする振動子。

【請求項4】 請求項2記載の振動子であって、該振動子を励振するための電極が、前記取付部以外の部分において、該振動子の幅方向の中心線に対して線対称な形状を有していることを特徴とする振動子。

【請求項5】 請求項3又は請求項4記載の振動子であって、該振動子を励振するための電極を有し、中央脚の該電極の幅が他の二つの脚の該電極の幅の略2倍であることを特徴とする振動子。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、時計等の基準信号を発生させるために用いられる振動子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】現在、時計等の基準信号を発生させるために用いられる振動子としては図9に示す様な2本の脚を有する水晶からなる音叉が広く用いられている。このような2脚音叉振動子は2本の脚が脚の並ぶ方向すなわち面内で、互いに反対方向に屈曲運動するような振動モード（面内振動）で使用される。2脚音叉振動子の共振周波数 $f_r$ は脚の長さ $L$ と幅 $W$ でほぼ決定され、おおよそ次式で現される値を持つ。

$$f_r \sim 700 \times W / L^2 \quad (\text{kHz})$$

【0003】近年、時刻を刻む機器は腕時計や壁掛け時計のような時計単体の機能を持った製品から、VTR、ファックス、パーソナルコンピュータなどに括弧がついており、特に最近では携帯電話に代表されるような携帯機器

への伸長が著しい。これらの製品にも基準信号の発生には水晶からなる振動子が用いられているが、携帯機器は小型化が追求される傾向にあり、また使用される電池の容量には限りがあることから、用いられる振動子にも小型化、低消費電力化が求められている。

【0004】しかしながら現在広く用いられている2脚音叉振動子で小型化と低消費電力化の双方を実現するのは次のような理由から困難であった。すなわち、2脚音叉振動子を相似的に小型化すると、前記の式からわかるように共振周波数が上昇してしまい、一般に電気回路は周波数が高くなるとより電力を多く消費するようになるので低消費電力化が実現できない。一方、共振周波数を一定に保ったまま小型化するには脚幅の脚長さに対する割合をより小さくする必要があり、脚の強度が著しく損なわれ現実的ではなかった。

【0005】共振周波数が脚幅に依存しない振動子としては3本の脚を持つ3脚音叉振動子の面外振動モードの利用が考えられる。3脚音叉振動子の共振周波数は脚の長さ $L$ と脚の厚み $D$ とでほぼ決定され、おおよそ次式で現される値を持つ。

$$f_r \sim 700 \times D / L^2 \quad (\text{kHz})$$

【0006】特開昭58-111515号公報では水晶を用いたときの良好な周波数温度特性を実現する手段として、音叉と水晶の結晶軸との関係について次のような開示がなされている。すなわち、3本の脚を有する振動子において、図10に示すように、脚の幅方向、長さ方向がそれぞれ水晶の結晶軸のX軸およびY軸に一致した状態からX軸の周りに角度 $\phi$ だけ回転するとき、 $\phi$ を $-25^\circ$ から $+35^\circ$ の範囲の角度に設定すると周波数温度特性が良好となることが開示されている。

【0007】支持方法は材料として金属を用いた例が特公昭43-1194にあり、基部と取付部との間に2つの連結部を設けることによって漏れ振動が低減できることが開示されている。

【0008】このような振動子は図11～17に示すような工程で製作される。まず、水晶の結晶原石から所定の方位を持った水晶板29を切り出す。次に水晶板29の両面を所定の板厚まで研磨する。研磨は厚みを自動的に管理できる両面研磨装置を用いて行われる。水晶板29はキャリア31に保持され、上定盤23と下定盤25に挟まれて研磨される。上定盤23と下定盤25の間にはインピーダンスアナライザ等の周波数測定機27が接続され、水晶板29の上面と下面の間に交流電圧を印加し厚み滑り振動を発生させ共振周波数が測定される

（図11）。研磨が進むと共振周波数が次第に上昇し、所定の厚さに対応する値になったところで研磨を終了する。続いて板の両面にCr33、Au35からなる金属膜37を蒸着する（図12）。板の両面にフォトレジスト39を塗布し、音叉のパターンを露光、現像する（図13）。フォトレジスト39で保護された部分を残して

10

20

30

40

50

金属膜37をエッチングにより除去した後、フォトレジスト39を剥離する(図14)。電極のためのフォトレジスト39を再び両面に塗布し、電極の配線パターンを露光、現像する(図15)。フッ化水素酸やフッ化水素酸とフッ化アンモニウムとの混合液により水晶をエッチングする(図16)。水洗の後、金属膜37をエッチングして配線パターンを得る(図17)。フォトレジストを除去した後、側面部へも電極が必要な場合はメタルマスクで表面を覆いながら金属膜を蒸着し側面部への電極を形成して完成する。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した従来の技術では、研磨による厚み精度の向上が困難であり、完成した3脚音叉振動体の共振周波数ばらつきが大きいという課題があった。これは次のような理由による。上述したように、水晶板の研磨には自動的に板厚を検知して研磨を終了する両面研磨装置が用いられるが、特開昭58-111515号公報に示された水晶の方位はX軸の周りに $-25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ の範囲であり、面の法線方向はほとんどZ方向を向いている。水晶はその性質上Z方向への電界印加では分極しないので、有効な電界はY軸方向成分のみである。従って、厚み方向に印加する電界をEPとすると有効なY軸方向の電界成分は高々  $EP \times \sin 35^{\circ} = 0.57 EP$  であり、さらに温度特性上の好適値である  $\phi = 14^{\circ}$  付近では  $EP \times \sin 14^{\circ} = 0.24 EP$  でありほとんど有効な電界が印加できない。このため、研磨時の共振周波数測定の精度が悪く板厚の精度を向上できなかった。

【0010】また、水晶が異方性を有する単結晶であることから、振動が完全な対称形にならないため上述した従来の技術による支持構造では漏れ振動が取付部にまで及んでしまうという課題があった。

【0011】上記課題を解決するため、本発明の目的は、共振周波数の温度特性が良好であり、且つ水晶板の厚み精度を向上し共振周波数の安定した3脚振動子を提供することにある。また、漏れ振動が少なくQ値の高い振動子を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明の振動子は一つの基部と該基部から同一の方向に伸びる3本の脚を有し、該脚の各々が面外方向へ屈曲振動する振動モードで使用される、水晶からなる振動子であって、該脚の伸びる方向を水晶の結晶軸のY軸とし、幅方向および厚み方向を、それぞれ水晶の結晶軸のX軸およびZ軸に一致させた状態からY軸のまわりに角度 $\theta$ だけ回転した方向とし、角度 $\theta$ が次の不等式を満足するように構成したことを特徴とする。

$$40^{\circ} \leq \theta \leq 65^{\circ}$$

【0013】本発明の振動子は、一つの基部と該基部から同一の方向に伸びる3本の脚を有し、該脚の各々が面

外方向へ屈曲振動する振動モードで使用される、水晶からなる振動子であって、該基部から見て該脚の伸びる方向とは反対方向にある該基部に接続する2つの連結部を有し、該2つの連結部は該振動子の幅方向の中心線に対して互いに線対称な位置にあり、該2つの連結部を結ぶ梁を有し、該梁と該振動子を固定するための取付部とを結ぶ一つの支持部を有することを特徴とする。

【0014】本発明の振動子は、前記3本の脚の内、中央に位置する脚の幅を他の2本の脚の幅の1.5~2.5倍としたことを特徴とする。

【0015】本発明の振動子は該振動子を励振するための電極が、前記取付部以外の部分において、該振動子の幅方向の中心線に対して線対称な形状を有していることを特徴とする。

【0016】本発明の振動子は、該振動子を励振するための電極を有し、中央脚の該電極の幅が他の二つの脚の該電極の幅の略2倍であることを特徴とする。

【0017】(作用)本発明の様な結晶方位を用いると、水晶板の法線方向はX方向に大きな成分を持つので有効な電圧印加が可能となり、水晶板の板厚管理精度が向上し、温度特性が良好であると同時に共振周波数の安定した3脚振動子を得ることができる。

【0018】また、本発明の様に取付部と基部との間に、2つの連結部とこれらを結ぶ梁と梁と取付部とを結ぶ一つの支持部を設けると、異方性によるわずかな漏れ振動も除去することが出来、Q値の高い振動子を得ることが出来る。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、本発明による実施の形態を図面に基ついて説明する。

【0020】(実施例1)図1は本発明による振動子の実施の形態を示す図であり、水晶方位を説明する説明図である。本実施例の振動子は一つの基部1と基部1から同一の方向に伸びる3本の脚3で構成されている。

【0021】本実施例の振動子の脚3は水晶の結晶軸のY軸方向へ伸びている。幅方向および厚み方向は、それぞれ水晶の結晶軸のX軸およびZ軸に一致させた状態からY軸のまわりに角度 $\theta$ だけ回転した方向にとる。角度 $\theta$ は $40^{\circ} \sim 65^{\circ}$ とするのが好適である。この角度 $\theta$ の範囲は次のように求められた。

【0022】水晶はSiO<sub>2</sub>からなる3方晶系に属する単結晶であり異方性を有する。弾性定数は方向によって異なり、テンソルで表現される。また、その温度依存性はテンソルの各成分ごとに異なる。このため、水晶からなる振動子の共振周波数は、結晶軸に対する方位によっても異なりと同時に温度依存性も方位によって変化する。図2はある角度 $\theta$ における、本発明による振動子の共振周波数の温度依存性を示すグラフである。図2に示すように共振周波数はある温度で頂点を持つ上に凸のグラフとなる。頂点を示す温度を頂点温度と称す。頂点温度が

使用温度範囲の中間付近にあれば共振周波数変化の幅は小さくなるので、そのような角度 $\theta$ を選択することが必要となる。図3は角度 $\theta$ を変えた時、頂点温度がどのように変化するかを現したグラフであり、およそ角度 $\theta = 52^\circ$ 付近で頂点温度は $25^\circ\text{C}$ となることを示している。

【0023】一方、本発明による振動子は図4に示すように、脚の並ぶ面に垂直な方向にそれぞれの脚が振動する面外振動モードで使用される。両端の脚（以下これを側脚5と称す）は同方向、中央脚7は反対方向に屈曲運動する。このような屈曲運動を生じさせるには各脚に図5のような電極9を設ければ良い。図5は脚の断面を現した図である。すなわち、脚の表裏で脚幅方向への電圧を逆向きに印加すれば、表面が伸びる時に裏面が縮むので面外方向への屈曲が生じる。従って、電圧を交番に印加すれば面外方向への屈曲振動を生じさせることができる。水晶の圧電現象は電圧を印加する方向によって異なり、X軸方向の電気分極に対してはX軸方向伸縮歪み、Y軸方向伸縮歪み、YZ面滑り歪みのそれぞれが生じ、Y軸方向の電気分極に対してはZX面滑り歪み、XY面滑り歪みが生じるが、Z軸方向へは圧電性がなくZ軸方向の電気分極は機械歪みを生じないことが知られている。従って、面外方向への屈曲振動を誘起するためにはX軸方向への電界を印加する必要がある。電極間に加える電界をEDとするとX軸方向の有効な電界は $ED \times \cos \theta$ である。従って、面外振動を励起させるには $\theta$ は小さい方が望ましいことになる。

【0024】さらに、製造工程において厚み管理は厚み方向に電界を印加し厚み方向への伸縮運動、すなわち厚み縦振動を生じさせその共振周波数を測定することによって行われる。このとき印加される電界をEPとすると、X軸方向への有効な電界は $EP \times \sin \theta$ である。従って、板厚を精度良く管理するためには $\theta$ は大きい方が望ましい。

【0025】上述したように、角度 $\theta$ は温度特性、励振特性、厚み管理のそれぞれに最適な値が存在し、これらの兼ね合いによって最適値が決定された。我々はこれらの検討の結果、角度 $\theta$ は $40^\circ \sim 65^\circ$ とすれば好適であることを見出した。また、特に温度特性を重視する用途では $45^\circ \sim 60^\circ$ の範囲とするのが好適であることを見出した。

【0026】（実施例2）図6は本発明による振動子の実施の形態を示す図であり、一つの基部1、基部1から同一の方向に伸びる3本の脚3、脚3の伸びる方向とは反対方向にある2つの連結部11、連結部11を繋ぐ梁13、振動子全体を固定するための取付部15、梁13と取付部15を結ぶ一つの支持部17から構成されており、全体が一つの水晶から形成されている。3本の脚の内、中央脚7の幅は側脚5の幅の略2倍である。また、電極9が各脚に形成されており、脚の先端部にはそれを

レーザでトリミングすることによって共振周波数の調整を行うための周波数調整用金属膜21がある。

【0027】3脚音叉は幅方向の中心線に対して線対称な形状をしているので、等方材料を用いた場合、寸法誤差がなければ振動は完全に対称となる、この場合従来の技術によるような基部を2つの連結部11で支持する方法は有効であり、ほとんど取付部15に生じる漏れ振動はない。しかしながら、水晶は異方性があるので寸法誤差が全くなくても振動は対称とはならないため、2つの連結部11を設けただけでは取付部15まで漏れ振動が生じてしまうことがわかった。実験では、取付部の固定方法によって共振周波数が数百ppm変化することが観測された。

【0028】そこで、漏れ振動の生じ方を詳細に検討したところ、漏れ振動の方向は対称軸19の左右で異なっており、対称軸19を軸とする捻り振動が生じていることがわかった。捻り振動を低減するには棒状のいわゆるトーションバーを設けるのが良いことから、我々は本実施例にあるように、2つの連結部11と取付部15との間に梁13および支持部17を設けたところ、固定方法による共振周波数の差は10ppm以下に改善することが出来た。この理由は次のように考えられる。

【0029】すなわち、支持部17を設けたことにより連結部11および梁13は対称軸19を軸とする捻り振動が容易となった。このため、水晶の異方性の結果として生じた脚3および基部1の捻り振動による角運動量を相殺するように、連結部11および梁13が逆方向に捻り振動するようになり、取付部を除いた部分で角運動量が釣り合うため、取付部への漏れ振動が低減したものと考えられる。

【0030】また、中央脚7は側脚5とは反対方向に運動するので、運動量保存の法則から、全ての脚が同じ幅であれば中央脚7は側脚5より2倍の早さで運動する必要がある。すなわち、振幅は2倍となる。従って、又部の捻れは大きくなり、結果として漏れ振動は大きくなることわかった。これについて検討した結果、中央脚7の脚幅と共振周波数の固定方法による差の間には一定の関係があることがわかった。図7は中央脚7の幅WCの側脚の幅WSに対する割合によって、固定方法による共振周波数の差dfがどのような依存性を示すかを現した図である。これを見ると、中央脚7の幅が側脚の幅の1.5～2.5倍程度において共振周波数の変化は最小となることが明らかとなった。さらに好適には1.8～2.2倍とすることが良いことがわかった。

【0031】（実施例3）図8に本発明による電極構造の実施の形態を示す。

【0032】本実施例による電極構造は幅方向の対称軸19である中心線に対して、取付部15を除いて対称である。また、中央脚7の電極9の幅は他の脚の電極9の幅の略2倍である。これによって、振動は線対称となり

漏れ振動をさらに軽減することができた。これは、中心線に対して対称な電極構造を持つと、加えられる電界も全く対称になり結果として振動の様子も中心線に対して対称となるので、漏れ振動を軽減できるためと考えられる。

【0033】また、実施例2で示したように、中央脚7の幅は側脚5の幅の略2倍であることが望ましいが、これは中央脚7の質量が他の二つの脚の質量の略2倍であることが望ましいと言い換えることができる。

【0034】時計用振動子の場合、周波数は32kHzであり、脚長さ1mm程度の小型振動子においては、脚の厚みは約30 $\mu$ mとなる。一方電極膜の厚さは0.2～0.4 $\mu$ m程度である。したがって、密度を考慮すると電極膜は脚の全重量の5～10%程度となり無視のできない重量を占める。よって、電極も中央脚においては他の2倍の幅を持たせると漏れ振動が軽減できると考えられる。

【0035】

【発明の効果】以上に記したように、本発明によれば、共振周波数の温度特性が良好であり、且つ水晶板の厚み精度を向上し共振周波数の安定した3脚振動子が得られるという効果がある。また、漏れ振動が低減しQ値の高い振動子が得られるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による第一の実施例を示す図であり、水晶の方位を示す図である。

【図2】本発明による振動子の共振周波数の温度依存性を示す図である。

【図3】本発明による振動子の頂点温度の角度 $\theta$ 依存性を示す図である。

【図4】本発明による振動子の振動モードを説明する説明図である。

【図5】本発明による振動子の電極と印加電界を説明する説明図である。

【図6】本発明による第二の実施例を示す図である。 \*

\*【図7】本発明による振動子の固定方法による共振周波数差 $\Delta f$ が中央脚の幅 $WC$ と側脚の幅 $WS$ の比によってどのように変化するかを現した図である。

【図8】本発明による第三の実施例を示す図である。

【図9】従来の2脚音叉振動子を示す図である。

【図10】従来の3脚音叉振動子を示す図である。

【図11】従来の振動子の製造工程を示す図である。

【図12】従来の振動子の製造工程を示す図である。

【図13】従来の振動子の製造工程を示す図である。

【図14】従来の振動子の製造工程を示す図である。

【図15】従来の振動子の製造工程を示す図である。

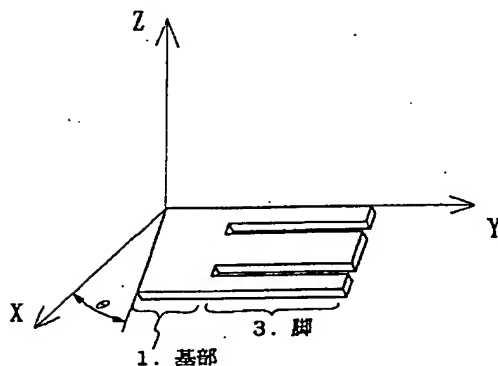
【図16】従来の振動子の製造工程を示す図である。

【図17】従来の振動子の製造工程を示す図である。

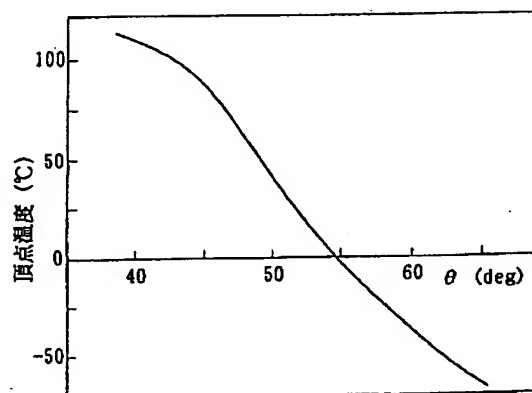
【符号の説明】

- 1 基部
- 3 脚
- 5 側脚
- 7 中央脚
- 9 電極
- 11 連結部
- 13 梁
- 15 取付部
- 17 支持部
- 19 対称軸
- 21 周波数調整用金属膜
- 23 上定盤
- 25 下定盤
- 27 周波数測定機
- 29 水晶板
- 31 キャリア
- 33 Cr
- 35 Au
- 37 金属膜
- 39 フォトリソ

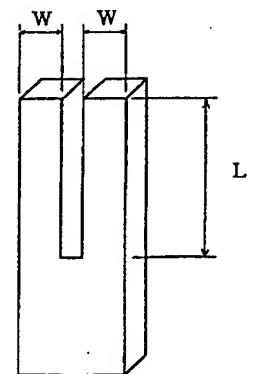
【図1】

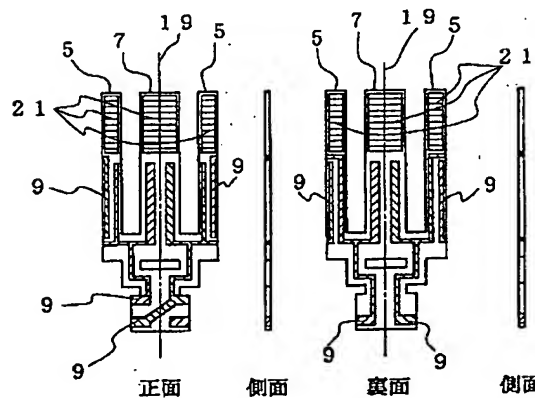
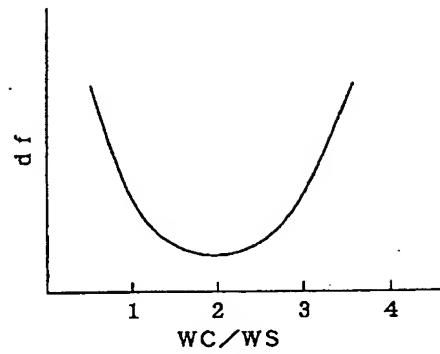
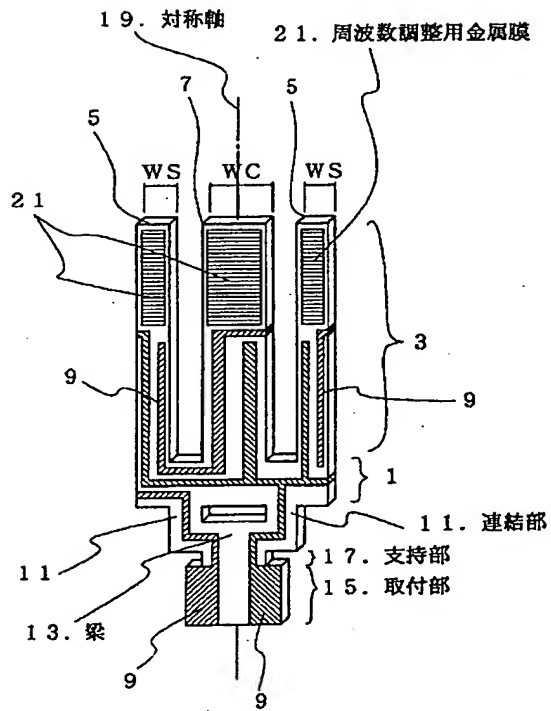
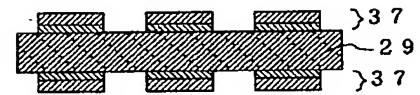
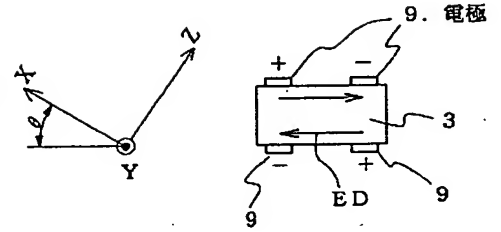
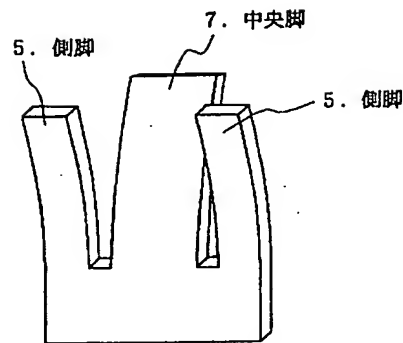
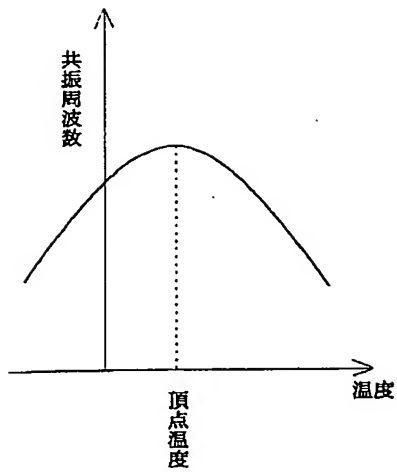


【図3】

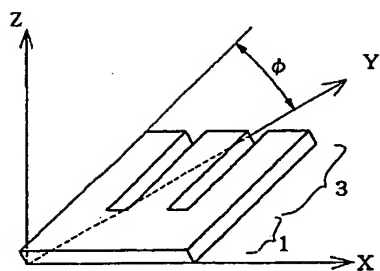


【図9】

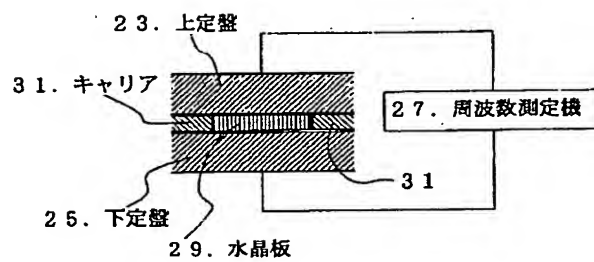




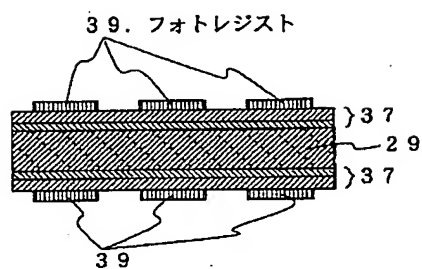
【図10】



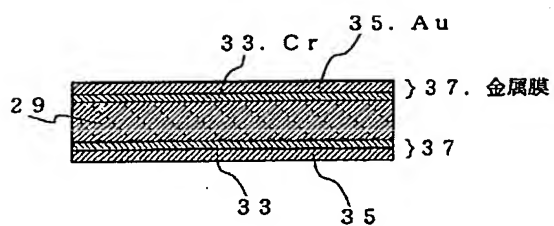
【図11】



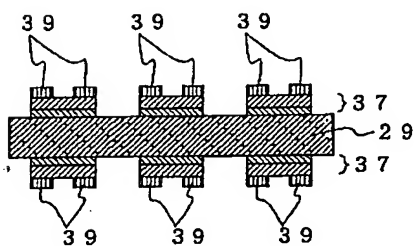
【図13】



【図12】



【図15】



【図16】

